

VAV 设备应用“理想化”和现有控制和设备简析

2007-7-28 计刚

摘要 本人发现实际设备的使用和控制方面存在许多工作的误区，在 BA 方面，空调于控制脱节没有发挥空调设备的潜力，反而产生能耗的浪费和维护成本的增加。为了配合 BA 控制系统的升级改造，能更好提高空调的 BA 控制水平，通过对变风量系统和新风定风量系统的单体设备进行简析，让 BA 调试者了解设备运行最佳模式，将其控制的更合理，并于广大设计同仁一起共同就此进行商榷，以推广这一先进系统的采用和提高我国空调设计和运行管理的水平。最后本文引进权威机构对本大厦设计和运行的有效评价。

1. VAV 变风量末端装置控制按基本控制模式分类有 2 种

- a. 压力无关型:通过检测风量大小来控制 VAV 末端送风, 静压大小对送风量不产生影响.
- b. 压力有关型: 通过检测末端风阀开度来控制末端 VAV 送风, 静压大小会对送风量产生影响.

2.VAV 空调机组的送风量控制模式分类有 3 种控制方法

- a.定静压控制:保证系统风道内某一点（或几点平均）静压一定的前提下,室内所需风量由 VAVBOX 风阀调节; 系统送风量由风道内静压与该点所设定值的差值控制变频器工作调节风机转速,同时,可以改变送风温度来满足室内舒适性要求。
- b.变静压控制:在保证 VAVBOX 风阀尽可能的处于全开位置(85-100%),系统送风量由风道内所需静压来控制变频器调节风机转速,同时,可以改变送风温度来满足室内舒适性要求。
- c.总风量控制:通过改变送风量调整室内温度,并使总送风量与需求风量的差值控制变频器工作,调节风机转速, 同时,可以改变送风温度来满足室内舒适性要求。

3. VAV空调机组的送风温度控制模式分类

- a. 定送风温度控制:房间的温度控制时,送风温度恒定. 只改变送风量来控制房间的温度.

- b. 变送风温度控制: 房间的温度控制时, 用改变的送风温度方式, 可用定风量送风, 也可用变风量控制, 满足室内舒适性要求.
- c. 回风温度控制: 通过回风温度传感器检测温度于设定值进行比较来控制温控水阀, 进行房间温度控制. 一般用于定风量控制.
- d. 送风温度控制: 通过送风温度传感器检测温度于设定值进行比较来控制温控水阀, 进行房间温度控制。

4. 多个 VAV 末端的关联控制

- a. 有共同的启停时间: 把其中 1 个 VAV 设为 Schedule Master, 该 Terminal 可以把自己的启停时间表广播给该房间内的其它 Terminal, 使该房间中的 VAV Terminal 有相同的启停时段。
- b. 有共同的温度设定值: 把其中 1 个 Terminal 设为 Set point Temperature Master, 该 Terminal 可以把自己的基本温度设定值广播到该房间内的其它 Terminal, 使该房间中的 VAV Terminal 有相同的基本温度设定值。
- c. 有共同的室温信号: 把其中 1 个 VAV Terminal 控制器所连接的室内温控面板作为主控制面板, 可以把该面板内的温度传感器信号广播到该房间内的其它 Terminal, 使该房间中的 VAV Terminal 都根据这个室内温度值来进行风量调节。(也就是说, 1 个 VAV Terminal Controller 并不一定必须配 1 个室内温控面板。)
- d. 共同进入强制运行时段: 一般而言, VAV 温控面板上都有一个强制(override)运行按钮, 当该按钮被按动时, 该温控面板对应的 VAV Terminal 将立即进入强制运行时段。把其中 1 个 Terminal 设为 Schedule Master, 当该房间内的任意一个 Terminal 对应的温控面板上的 override button 被按动后, 该房间内的所有 Terminal 可立即进入强制运行时段

5. VAV空调机组的新风、排、回风门控制

控制原理：把所有室内空气品质控面板中的CO₂（空气质量）传感器数值取最大、最小或平均值，把该值作为测量值，与空气质量的最低限度设定值进行比较后，控制VAV空调机组的新、回风门开度。

6. VAV 空调系统的联动控制

- 1.任意一个 VAV Terminal 处于工作模式(运行时段)，将立即联动开启 VAV 系统中的(空调机组)AHU，甚至联动开启冷水机组。
2. 如全部 VAV Terminal 都处于非工作模式(停运时段)，VAV 系统中的 AHU 将立即停运，甚至控制冷水机组停运。

7. 省能运行

VAV 末端借助于进口调节阀，并联风机，热水盘管，风速测量装置、房间控温器，电动控制元件，能使空调系统达到省能运行。部分负荷时，能避免在定风量系统中，再热器的冷热负荷抵消而造成的双重能量消耗。如考虑到系统设备的同时使用系统，能使 VAV 末端系统总风量减少，节省大量风机水泵的电能。

8. 静音设计

箱体设计成内壁贴有带保温的消声材料的消声器。箱内通常不设风机,并联风机动力小,噪声低。末端的送风动力主要来自于系统的可变风量主风机,这样,能使风机静音运转。在部分负荷时,VAV 末端的噪声通常比同风量的风机盘管加新风系统低。

9. 控制先进

机组进气口设有电子风速传感器，可以根据房间的温度要求，通过压力无关型气动/电动（模拟/数字）控制器调节送风量，温度控制品质好。

多区变风量系统的优点是：

- a. 每一间空调房间或区间都安有变风量末端装置，因此可以进行个别控制和分区控制；
- b. 考虑同时使用率，因此与单风道系统比较，空调设备的容量和风管尺寸可以减小；
- c. 由于完全根据室内负荷的变化进行室温控制，冷、热源设备高效率工作；
- d. 部分负荷时，风机低速运行，节能效果明显；
- e. 区间间隔发生变化或负荷在一定范围内增减时，较易处理。

多区变风量系统的缺点是：

- a. 室内送风量减少时，室内气流组织易恶化；
- b. 采用一般的控制方式，风管内压力较难控制，有可能影响到变风量系统的使用效果；
- c. 变风量系统的新风量控制困难；
- d. 系统调试复杂，维护管理不便，需有专门的技术人员进行管理；

10. VAV 末端的基本组合

单风道变风量末端：这是最简单的变风量末端，仅有一条送风道通过末端设备和送风口向室内送风。根据空调负荷的减少而相应减少，这样可实现对室温，室内最大，最小风量的有效控制，减少风机和制冷机的动力负荷。这种组合只能对各房间同时加热和冷却，无法在同一时期内实现，对有的房间加热，有的房间冷却。当显热负荷减少时，室内相对湿度也不易控制。因此，仅适用于室内负荷比较稳定。只能在室内相对湿度无严格要求的场合。

11. 并联风机驱动热水再热的单风道变风量末端

在并联风机驱动的单风道变风量末端上，并联一热水再热盘管组合而成。当系

统送风量达到最小设定值,而仍需要下调室内的空气参数时,启动一并联风机,吸取吊顶中的回风,送入机组内,与冷气混合后通过回热器再热,送入房间

12. VAV末端的部件结构

箱体采用薄形设计,由镀锌板外壳制成,内衬厚度为 25-50mm,密度为 40kg/m^3 的玻璃纤维,表面贴有穿孔铝箔,用保温钉固定在面板上的内表面上,具有防火,隔热、隔声和防腐的能力。机壳内的最大风速可达到 20m/S 。一次风高压侧管采用圆管,低压侧风管采用滑动法兰连接。机组下侧,设有通道门,在不影响机组管道连接的情况下,能方便地对风机和电机进行维护保养。

13. 调节风门

由碟阀式叶片组成的节流基本功调节风门,具有良好的密封和气流设计。当进口压力为 750Pa 时,风门的最大泄漏量为额定风量的 2%。在风门叶片伸出轴上设有无需保养的长寿命尼龙自润滑轴承,与执行器连接后,风门能按房间的温度要求,通过温控器控制进气口的一次风量。一次风的风量采用压力无关型控制器,控制器设定区间为 $100\%-0\%$,控制误差为 $\pm 5\%-\pm 10\%$,控制精度主要依赖于控制器的型式现在使用的一种变风量末端装置,其中节流装置单叶阀(蝶阀)具备以下功能:

优点: a.平滑的调节曲线,应尽可能呈线性;

b.低噪声;

c.全闭时,在一定的静压作用下,空气泄漏量小。

缺点: a.增加系统的能耗,变风量系统的主要目的之一是节能,可是节能式末端装置反其道而行之,由于节流,而增加了系统的能耗;

b.增加系统的噪声,由于节流,而增加了系统的噪声;

c.增加系统的复杂性。

14. 风速传感器（测速站）

在机组进口调节风门前设平均风速量感器，提供正比于流量的压差信号，通过压差信号可直接读得机组一次风的风量，并实现对风门的控制。通过一次风压差信号，可直接读得机组一次风的风量，并实现对风门的控制。最小的一次风压差信号为 25Pa，在典型的一次风流量区间，由平均风速传感器测得的压差，在校正后误差为±3%。

15. 热水盘管

热水盘管具有镀锌钢板壳，铜管套铝片结构，机械涨管。铜管内径为 Ø9.5-12.7mm，铝片片距为 1.80-2.54mm，排数为 1-4 排，每排设一回路，其热量区间为 2-18KW。回水管处设置电磁阀，调节水量。

16. 并联风机

并联风机具有前向多翼离心叶轮，双吸结构，镀锌板外壳，电动机直接驱动，安装在 VAV 末端机组的出口，有吸入安装形式。为了防止停机时的回流，在风机的出口处设有回流风门。风机电机是一种节能型的单相电容电机，风机的设计三档风速可由现场调整。风机电机等级与系统匹配，保证从最小电压时稳定运转。电机风扇部件维修时可直接从机组下侧拆下。按冷工况 50% 的送风量要求的热负荷，计算空气的温升。借助三档风速接线端接插件手动调节风机的转速，调节一次风进口静压，为一次风管网所需静压与一次风风门所需最小静压之和，机组的必须满足额客风量下的进口静压要求。机组的最大进口静压通常设定为 500-750Pa。

控制器：机组具有压力无关型气动，电子和通讯控制。在 1.5KPa 进口压力下，风量调节的精度为机组额定流量的±5%。无论在工厂或现场，控制器均能按照房间恒温器的要求，对最大和最小风量的设定之间进行调节。通常把带有定温度控制机组定为标准机组。

并联风机驱动的单风道变风量末端：由单风道变风量末端并联一离心风机组合而成，当系统送风量达到最小设定值，而仍需要下调室内的空气参数时，启动一并联风机，吸取吊顶中的回风，送入机组内，与冷气流混合后送入房间。一次风与回风的混合，可有效地节省能量，并使系统具有较好的气流分布。

并联风机驱动热水再热的单风道变风量末端：在并联风机驱动的单风道变风量末端上，串联一热水再热盘管组合而成。当系统送风量达到最小设定值，而仍需要下调室内的空气参数时，启动一并联风机，吸取吊顶中的回风通过回热器再热，送入机组内，与冷气混合后，送入房间。风速传感器（壁托管）：在机组进口调节风门前设有平均风速传感器，提供正比于流量的压差信号，通过压差信号直接读得机组一次风的风量，并实现对风门的控制。

17. 变风量空调系统（VAV）控制原理

变风量控制器和房间温控器一起构成室内串级控制，采用室内温度为主控制器，空气流量为辅助控制量。变风量控制器按房间温度传感器检测到的实际温度，与设定温度比较的差值，以此输出所需风量的调整信号，调节变风量末端的风阀，改变送风量，使室内温度保持在设定范围。同时，风道压力传感器检测风道内的压力变化（或采用风道风速传感器检测风道内的风速变化，也可以通过末VAV需求总风量和实测风量比较），采用PI或者PID调节，通过变频器控制变风量空调机送风机的转速，消除压力波动的影响，维持送风风量的平衡。

18. 变风量系统的特点

- a. 舒适性：能实现各空调区域的灵活控制，可以根据负荷变化或个人的要求自行设定环境温度。
- b. 节能：由于空调系统绝大部分时间是在部分负荷下运行，而变风量空调系统是通过改变送风量来调节室温，因此能够合理的分配风量，减少空调机组的风机能耗，可明显降低运行电费，并可降低空调机组的总装机容量。

VAV 设备和控制简析

- c. 不会发生过冷或过热：由于温度控制的灵活、有效，可以避免常规空调常见的局部区域过冷或过热，既提高了舒适度，又节约了能量。
- d. 系统噪声低：如果风量减小是通过风机转速降低实现的，则会使系统噪声大幅降低。
- e. 无冷凝水烦恼：变风量系统是全空气系统，冷水管路不经过吊顶空间，可以避免冷冻水、冷凝水滴漏污染吊顶，没有凝水盘避免了霉菌污染。
- f. 系统灵活性好：其送风管与风口之间采用软管，送风口位置可以根据房间分隔的变化而任意改变，也可根据需要适当增减风口，使系统结构变得十分灵活。

19. 安装方便

与同风量的风柜相比，VAV 末端机组结构紧凑，机组高度小于 500MM，有效地增加了机组的安装空间，减少了层高对机组安装的影响。由于冷冻/冷凝水管不进入天花板上部，没有风机盘管的凝水盘，不存在冷凝滴水污损天花板现象。设置在机组底部的维修孔，使机组的安装、维护和保养更为方便，有效地减少机组的安装和维修成本。

20. VAV 末端的基本组合

单风道变风量末端：这是最简单的变风是末端，仅有一条送风道通过末端设备和送风口向室内送风。根据空调负荷的减少而相应减少，这样可实现对室温，室内最大，最小风量的有效控制，减少风机和制冷机的动力负荷。这种组合只能对各房间冷却，无法实现对有的房间加热，当显热负荷减少时，室内相对湿度也不易控制。因此，仅适用于室内负荷比较稳定。室内相对湿度无严格要求的场合。

21. VAV末端的风量

通常VAV末端的风量小于等于 $6800\text{M}^3/\text{H}$ ，由设置在机组进口的线性平均流速

传感器，借助于压力无关型控制器，按控制信号调节风量。室温控制器控制灵敏度，进口管和所选机组的大小匹配。为了防止不稳定的控制方法，进口管道的最小流速应大于 1.8m/s ，或压力信号不小于 2.5Pa ，反之大多数控制系统将不能进行可靠的分辨。为减少管道的压力阻损和机组的噪声，送风管道的最小流速莫小于 12.8m/s 。当机组进口的最大流速达到 15.3m/s ，时送风管道的压损将明显增加，机组的噪声也会加大。

22. 串联风机的风速

串联风机，电机是一种节能型的单相电容电机，风机的设计三档风速和速度（SCR）控制器可由现场设定调整。风机电机等级与系统匹配，保证从最小电压时稳定运转。电机风扇部件维修时可直接从机组下侧拆下。其风速，由风机、电机和下游侧的压力决定，若风速过低，会使电机转速过低，导致电机过热和轴承过热损坏。

23. 系统的总风量

系统的总风量的控制,是通过调节风机的转速,保证风道上的某一点的静压恒定来实现的。系统最大风量的设定,取决于房间朝向,建筑规模、房间性质和使用情况,由设计者作充分调查后决定,考虑到各末端负荷控制的不同步性,系统主风机的标准运转点,通常处在最大负荷的 $60\%-80\%$,风量过度会使系统静压设定值偏高,影响系统的节能和噪声。系统最小风量的设定,应满足控制室风的相对湿度,最小新风和气流组织的要求,有时也可按房间最大的风量 40% 来确定,最大最小的越不显著风机运行的越稳定,相反,易引起风机运行的不稳定。

24. 条形风口对本大厦空调的作用

优点：条形风口对空调的控制是极为有利。它具有响应速度快；垂直送风，引

射作用和风量放大功能。其性能指标可达正常风口值的 1.2 倍，是其他风口所不能比拟的。

缺点：条形风口由于具有引射作用,风量放大作用和垂直送风功能；使得在送风口下的客户无法避让。因此客户对空调的感受也就被放大了。使得送风口下的客户,即使在舒适环境中,还是无法忍受送风口下那或大或冷送风。为了满足送风口下，客户合理的要求：我们不得不采用提高空调箱整体的送风温度，减少 VAV 的送风量等方式来满足部分客户的需求。从产生对空调整体运行极为不利的运行条件，无法实现的节能运行和舒适性等“理想化”的目标。

25. 条形风口对本大厦空调影响

a. 由于客户无法忍受送风口那或大或冷的送风；送风口下的客户们会经常自行采用停止 VAV 控制设备的运行，提高 VAV 运行控制设定温度，关小风口导叶甚至封闭风口来满足所谓的舒适，使得空调流速降低；循环量减少；气流组织严重恶化，从而产生新风量不足等。使得在空调方面产生恶性连锁反映。让客户们无法享受最先进空调技术的成果。并产生对先进空调控制理念曲解，这也是有志于空调事业者的悲哀。好的技术需要好理念，好的理念需要不断更新，只有横向的比较相互学习才能使设备运行的更为科学更为合理。在空调方面只要有一个小小的疏忽就会造成系统许多不相关现象的连锁发生。要透过现象看本质是很难得，没有深厚的功底和细心地观察力认真工作态度是不可能发现问题并解决问题。

b. 由于条型风口具有引射作用,风量放大功能，vav 最大风量，最小风量和空调箱送风温度很难确立：一.要考虑风口下客户感受，二.要考虑房间降温需求、循环风量需求和新风量需求。三.又加上客户不切实际二次装修给空调单位送回风风量带来不平衡等因素的干扰。给空调工作带来极大困难。从某种观点上，要达到理想上的舒适是完全不现实的。只要环境略有变化很难找到新的平衡点。这样一来，对空调工作来讲调试经验是更为重要，任何一个小小的

VAV 设备和控制简析

疏忽多会给带来客户不满。还会造成一个问题要进行多次调试才能基本解决。在季节温差变化交换频繁的时期空调方面，工作量极大，投诉率也极大。不满意率也极高。

在国际航运大厦空调系统中，一边是风口下太冷，另一边是循环风量和新风量太小，从而产生了许多客户房间里，空调加电扇的现象；要解决空调现有问题，但靠 BA 解决是不太现实的。希望各位领导各专家，能从多角度多方位，找到造成目前现状根本原因，来解决现有急需的问题。

理想 BA 控制方法的并联风机串联风机比较

类型特征	并联风机型	串联风机型
风机运行	在低供冷负荷，供暖负荷和夜间循环时，间歇运行。	连续运行，采暖和制冷时均运行。
送风量调节	1 在中到高供冷负荷时，变风量运行。 2 在供暖与低冷负荷时，定风量运行。	在供暖与低冷负荷时，定风速，变风量运行。
送风温度	1 在中高供冷负荷时，送风温度恒定。 2 在供暖与低冷负荷时，定风量运行。在所有时间内送风温度可变。	在中高供冷负荷时，送风温度恒定。 低冷负荷时在所有时间内送风温度可变。
风机大小	按供热负荷（60%供热负荷）设计。	按供冷负荷(100%供冷负荷)设计。
一次风最小送风静压	较高，需克服节流阀，下游风管和散流器阻力。	较低，只需克服节流阀阻力
风机控制	不需与 AHU 风机联锁	必需与 AHU 风机联锁以防增压
AHU 风机	需较大功率克服节流阀，上下游风管和散流器阻力。	只需克服上游风管和节流阀阻力
噪声	风机间歇运行.启动噪声大.平稳运行噪声低。	风机连续运行,噪声平稳,但比并联风机型平稳运行噪声稍高。
风机能耗	风机间歇运行,且设计风量小能耗较低。	风机连续运行,且设计风量大能耗较高。

26. BA 控制系统的作用

设备控制系统不是万能的，BA 控制系统只是把空调能量的进行合理分配，使之运行更为合理有效，在 BA 调试之前各种运行设备必须调整到最佳的工作状态，任何一个病态设备的运行多会给 BA 控制系统带来意想不到的困难，目前

BA 空调送风系统的有效控制办法，只能对末端送风的流量，送风的温度和新风量进行控制，对末端设备控制工作是否有效的反馈，只能是温度和湿度，对于局部风口下的舒适度，只能通过其他硬件设备的调整来解决。

27. BA 控制系统设备选型存在问题

A. 冷却塔温度传感器原采用室内型温度传感器：故障率达 40%。B. 群房机房带新风口的空调机的驱动器电动阀采用室内型：现故障率达 50%以上。C. 群房受湿度影响新风口温度传感器故障失真率也较高。D. 群房带新风口空调机房的变频器故障率极高几乎让人无法想象。能否慎重选型和增加设备有效防护确保重要设备的安全性。

楼宇自控 —— 暖通空调监控

暖通空调系统就是为了营造良好的生活工作环境，并对大厦大量暖通空调设备进行全面管理而实施的监控。暖通空调系统的监控内容如下：

空调系统的监控、

1) 新风机组的监控：新风机组中空气——水换热器，夏季通入冷水对新风降温除湿，冬季通入热水对空气加热，干蒸汽加湿器用于冬季对新风加湿。对新风机组进行监控的要求如下：

(1) 检测功能：监视风机电机的运行/停止状态；监测风机出口空气温、湿度参数；监测新风过滤器两侧压差，以了解过滤器是否需要更换；监视新风阀打开/关闭状态；

(2) 控制功能：控制风机启动/停止；控制空气——热水换热器水侧调节阀，使风机出口温度达到设定值；控制干蒸汽加湿器阀门，使冬季风机出口空气湿度达到设定值。

(3) 保护功能：冬季当某种原因造成热水温度降低或热水停供时，应停止风

机，并关闭新风阀门，以防机组内温度过低冻裂空气——水换热器；当热水恢复正常供热时，应能启动风机，打开新风阀，恢复机组正常工作。

(4) 集中管理功能：智能大楼各机组附近的 DDC 控制装置通过现场总线与相应的中央管理机相连，于是可以显示各机组启/停状态，送风温、湿度、各阀门状态值；发出任一机组的启/停控制信号，修改送风参数设定值；任一新风机组工作出现异常时，发出报警信号。

2) 空调机组的监控

空调机组的调节对象是相应区域的温、湿度，因此空调装置的输入信号还包括被调区域内的温湿度信号。以各测量信号值作为反馈信号；若被调区域与空调机组 DDC 装置安装现场距离较远时，可专设一台智能化的数据采集装置，装于被调区域，将测量信息处理后通过现场总线将测量信号送至空调 DDC 装置。在控制方式上一般采用串级调节形式，以防室内外的热干扰、空调区域的热惯性以及各种调节阀门的非线性等因素的影响。对于带有回风的空调机组而言，除了保证经过处理的空气参数满足舒适性要求外，还要考虑节能问题。由于存在回风，需增加新、回风空气参数测点。但回风道存在较大的惯性，使得回风空气状态不完全等同于室内空气状态，因此室内空气参数信号必须由设在空调区域的传感器取得。另外，新风、回风混合后，空气流通混乱，温度也很不均匀，很难得到混合后的平均空气参数。因此，测量混合空气的状态可靠性差，不应把该状态作为 DDC 控制的依据。

3) 变风量系统的监控

变风量系统 (VAV) 是一处新型的空调方式，在智能化大楼的空调中被越来越多的地采用。带有 VAV 装置的空调系统各环节需要协调控制，其内容主要体现在以下几个方面：

(1) 由于送入各房间风量是变化的，空调机组的风量将随之变化，因此应采

VAV 设备和控制简析

用调速装置对送风机转速进行调节，使之与变化风量相适应。

(2) 送风机速度调节时，需引入送风压力检测信号参与控制，从而不使各房间内压力出现大的变化，保证装置正常工作。

(3) 对于 VAV 系统，需要检测各房间风量、温度及风阀位置等信号并经过统一的分析处理后才能给出送风温度的设定值。

(4) 在进行送风量调节的同时，还应调节新、回风阀，以使各房间有足够的新风。

(5) 在空调停止运行时，应关闭新、排风阀，减少因空调停止时室外空气通过新、排风阀窜入室内，影响室内环境温度。

暖通系统的监控

暖通系统主要包括一次热水锅炉房，热水换热器及二次热管网，根据智能化大楼的特点，下面主要针对供暖锅炉一次水的进行监视。

对供暖锅炉水系统供热温度，和流量两部分进行监视，监控系统可以由若干台 PLC 及一台中央管理机构成。各 PLC 装置分别对炉水系统一次水泵，锅炉出水温度和补水情况进行监测控制，了解锅炉及各循环泵的开启台数和供热状况

热水板交系统的控制

二次出水温度控制，二次水变频流量控制，一次锅炉旁通流量温度阀，一次热水补水监视，二次热水补水监视。

热水系统监控的主要任务有以下 3 个方面：

1. 保证系统安全运行：主要保证循环泵的正常工作和及时补水，使锅炉循环水和二次循环水泵运行不致中断，也不会因放而空欠压缺水。
2. 计量和统计：测定供回水温度、循环水量，从而获得实际供热量和循环水量

VAV 设备和控制简析

等统计信息。

3.运行工况调整：根据要求改变一次循环水泵运行台数或改变二次循环水泵转速，调整循环流量，以适应供暖负荷的变化，节省电能。

表 VCS 的主要管理功能一览

功能	内 容
一般监视显示	设备状态(VAV 风阀,风速传感器,空调器,变频器等)设备报警(过滤器,其它部件异常等)设定值和测量值(风量,温度等)以及查表功能系统静压过高或不足
记录	设备状态,设备报警,测量,查表,做成日报/月报/年报等
设定操作	个别设备(VAV 的最大/最小风量,室内温度等)以群为单位的设备,设定值变更等
日历控制	根据业主要求设定执行日历,可预先指定一年的休息日
时刻控制	按照指定日历执行设备 ON/OFF 控制以及运行时刻控制
日程表合成控制	从几个日程表中,算出最早启动时间或停止时间,执行日程表控制
联动控制	进行设备元件间的联动控制,报警时联动控制,根据几个管理点信息的逻辑和(AND/OR)等判断控制的诱发条件
季节变更控制	将季节信息划分为送冷/送风/送冷热/送风 4 种类型,在设定日自动更换,同时直接对所设备发出启动/停止命令。
远程设定日历控制	根据季节变换,需要变更远程设定值(如室温)时,只要预先设定更换日期,设定值,即可在指定日期自动更换设定值
节电运行控制	尽可能使得用电设备不进行连续运转,以间歇运转方式维持舒适的要求环境,实现节能。
新风量控制	当新风焓值低于室内焓值时,则尽可能多送新风。在充分满足舒适的前提下利用自然能源实现节能。
最佳 ON/OFF 控制	为使室温在指定时刻达到指定温度,由计算将空调机的预热运行时间控制到最小范围。同时未到停机时刻但由计算可知能确保室内环境时立即停止空调机运行。上述计算方法也适用于假日或连休结束后的演算

冷热源及其水系统的监控

智能化大厦中的冷热源主要包括冷却水、冷冻水及热水制备系统，其监控特点如下：

冷却水系统的监控

冷却水系统的作用是通过冷却塔补水和冷却水泵及管道系统向冷冻机提供冷却水，监控的目的主要是保证冷却塔不缺水，风机和冷却水泵安全运行；确保制冷机冷凝器侧有足够的冷却水通过；根据室外气候情况及冷负荷调整冷却水运行工况，使冷却水温度在要求的设定范围内。

冷冻水系统的监控

冷冻水系统由冷冻水循环泵通过管道系统连接冷冻机蒸发器，膨胀水箱补水及用户各种冷水设备（如空调机和风机盘管）组成。对其进行监控的目的主要是保证系统不缺水冷冻机蒸发器通过足够的水量以使蒸发器正常工作；向冷冻水用户提供足够的水量以满足使用要求；在满足使用要求的前提下尽可能减少水泵耗电，实现节能运行。

上海国际航运大厦

1. 工程概况： 基地面积 12020m²; 建筑面积: 地上 92150 m², 地下 22750 m²。
层数: 地上 50 层, 地下 3 层。总高度 200m。

① 空调负荷 夏季冷负荷 12.3 MW 1058 万 kcal/h (3500rt) 冬季热负荷 6.0 MW (520 万 kcal/h)

② 冷热源设备选择

a 冷源采用电动离心式冷水机组, 冷冻水一侧采用 8.8℃ 大温差供回水 (5.6℃ / 14.4℃), 有利于降低送风温度和大温差送风, 有利于缩小水管管径和水泵节能,

VAV 设备和控制简析

冷却水一侧也采用 8.2°C 大温差供回水 ($32.2^{\circ}\text{C} / 40.4^{\circ}\text{C}$), 有利于缩小冷却水管管径和冷却水泵节能。

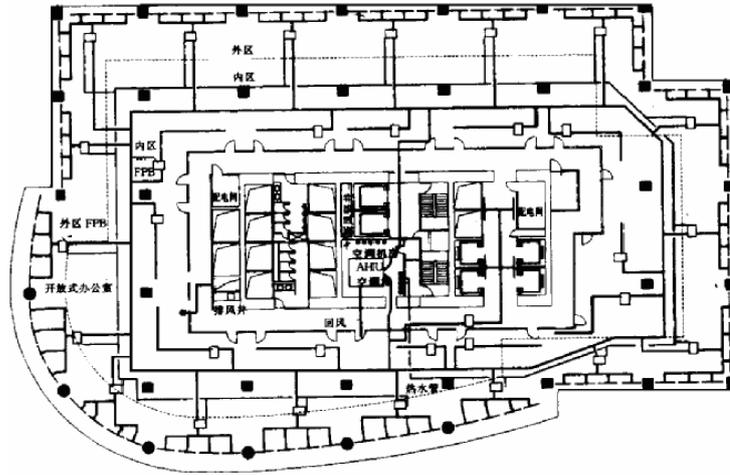


图 2.1 上海国际航运大厦标准层

b 办公层和裙房层因平面大, 有明显内外区现象, 经计算冬季内区仍有冷负荷发生, 为此采用冷却塔板式热交换器组合, 冬季自然供冷, 充分节约能源。

c 冷热源设备概况:

离心式冷水机组	4.40MW (378 万 kcal/h), 2 台
离心式冷水机组	2.81MW (242 万 kcal/h), 1 台
螺杆式冷水机组	700KW (60 万 kcal/h), 1 台
热水锅炉	3.0MW (260 万 kcal/h), 2 台

2.2 空调系统

①办公层采用变风量空调系统, 新风经集中冷却或加热加湿后送到各层空调机房, 经与回风混合进变风量空调箱处理后送到室内各区域送风末端装置 (FPB), FPB 根据所辖区域温度调节送风量, 当各 FPB 送风量之和减小时, 风机变频调速, 相应减少送风量, 从而节约了风机动力消耗。由于办公层面积大, 内外区明显, 为此采用内外分区。内区 FPB 无加热盘管, 全年供冷。外区 FPB 带加热盘管, 冬季供暖。采用的变风量空调系统较之传统的风机盘管加新风

VAV 设备和控制简析

系统 ,有如下优点 :• 区域温差控制较好 ,增加舒适性。

- 空调和 FPB 带中效过滤 ,改善空气品质。
- 部分负荷时 ,风机减速 ,节能明显。
- 冷冻水、冷凝水不进吊顶 ,免除冷凝滴水、水盘细菌繁殖之忧。

②裙房部分 对于宴会厅、大厅、舞厅等大空间采用定风量系统 ,对零售区、公共走廊等负荷变化多、分割可能性大的部分 ,采用变风量空调系统。

③对各种空调系统全面提高过滤等级 ,采用中效过滤 (比色法 60%) ,以便提高空气品质 ,并将过滤器终阻力限制在 80~100Pa。

④上部客房采用风机盘管加新风系统。

3.2 上海国际航运大厦 VAV 空调系统分为办公区和裙房区两部分。图 11 表示了办公区 VAV 空调控制系统原理 ,其特点如下

① 每层设新风定风量装置 (CAV)和排风定风量装置 ,以确保新风量以及对应的排风量。

② 新风系统和排风系统集中处理 ,根据需要变频调节风机风量。

③ 每层 1 个 VAV 空调系统 ,分为内外二区。外区末端采用带热水加热盘管的串联型风机混合箱 FPB;内区采用 VAV 末端。

④ 外区的 FPB 及内区的 VAV 末端所带的控制器根据温感器检测出的区域温度与设定温度比较 ,根据比较结果调节 FPB 的一次风风量以及 VAV 的送风量。

⑤冬季外区 FPB 维持最小一次风量,FPB 控制器根据室内要求温度 ,调节热水盘管加热量。

⑥各 FPB 及 VAV 的送风量及开度等信息通过 SCM与 ICC 通讯。

⑦据送风温度偏差值比例调节二通阀。夏季空调状态当某个 VAV 末端达到最

VAV 设备和控制简析

小风量而仍需减小时 ,可调高送风温度。

⑧由定风量的 CAV 末端维持新风量与排风量。空调箱启动时关闭 CAV 末端作预冷,预热运行。

⑨过滤器阻力报警。

⑩与中央监控系统 (BAS)通讯 :风机启停。送风及回风温湿度检测。送风、新风、排风量检测。新风量、排风量、送风温度等运行参数再设定 ;系统运行状态监视。裙房区 VAV 空调系统控制原理基本与办公区相同。不同之处是当室外空气状态允许新风供冷时 ,系统控制器通过新风、排风、回风 3 个调节阀联动调节系统新风比 ,实行新风供冷

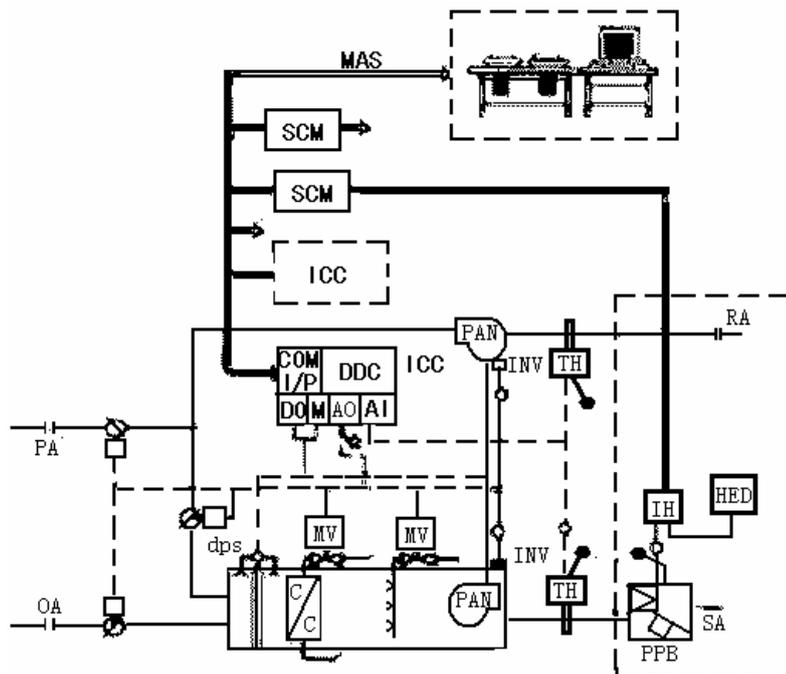


图 11 上海国际航运大厦 VAV 控制系统原理图

OA-CAV 新风,CAV 末端,SA-VAV 送风,VAV 末端,SA-CAV 送风 CAV 末端 RA-VAV 回风 VAV 末端 dps 微压差开关 TED 插入型温度传感器 HED 插入型湿度传感器 TH 插入型温湿度传感器 MV 电动二通阀 IVCVAV/CAV 控制器 INV 变频器 ICC 智能型空调箱控制器 SCMVAV/CAV 控制器 COM I/P 通量输出 DI 数字量输入 AI 模拟量输入 AO 模拟量输出信接口 DO 数字

上海国际航运大厦空调通风系统设计

叶大法 黄翔 苏夺

【摘要】：该大厦是一座超高层全封闭办公大楼，设有完备的智能系统。概要介绍了大厦空调系统设计，重点介绍变风量系统及其控制内容和方法，并对防排烟系统作了初步探讨；总结了大厦的调试、运行经验。

1 工程概况

上海国际航运大厦（简称：航运大厦）位于浦东家嘴地区，浦东大道福山路口，是一座集办公、酒店客房、餐饮、文化设施等多种功能于一体的现代化综合性办公大楼。

于 1994 年起设计，由加拿大 TMP 公司进行方案与初步设计，华东院进行初步设计调整与施工图设计，1994 年 10 月起施工，1998 年 5 月结构封顶，1999 年底全部竣工使用。

表 1 建筑概况

楼层	建筑面积 / m ²	用途	备注
地下 1—3	22750	停车库及设备机房	
1—5	20200	商务,餐饮,文体,设施	层高 4.8m
6—28	51950	办公	层高 3.9m
30—48	19000	酒店客房	层高 3.4m
50	1000	旋转餐厅	层高 5.0m
29, 49, 51	3000	设备层	

大厦主楼全钢结构，裙房钢筋混凝土结构。大厦设有完备的智能化系统，包括建筑设备管理自动化系统 BAS，安全保卫系统 SAS，消防监控系统 FAS，综合布线系统及大楼设施集成管理系统 BMS 等。

2 冷热源系统设计

2.1 设备概要

冷水机组 离心式 冷量 4570kW×2 台 10000V

VAV 设备和控制简析

	离心式 冷量	2460kW×1 台	380V
	螺杆式 冷量	1410kW×1 台	380V
冷却塔	逆流式	700m ³ A×2 台	
	逆流式	400m ³ A1×1 台	
	逆流式	300m ³ A1×1 台	
锅炉	燃油/气热水炉	2907kW×2 台	
交换器	板式换热器 冷量	1279kW×2 台	
	板式换热器 热量	1628kW×1 台	
	板式换热器 热量	2112kW×1 台	
	板式换热器 热量	1895kW×1 台	

2.2 冷水系统

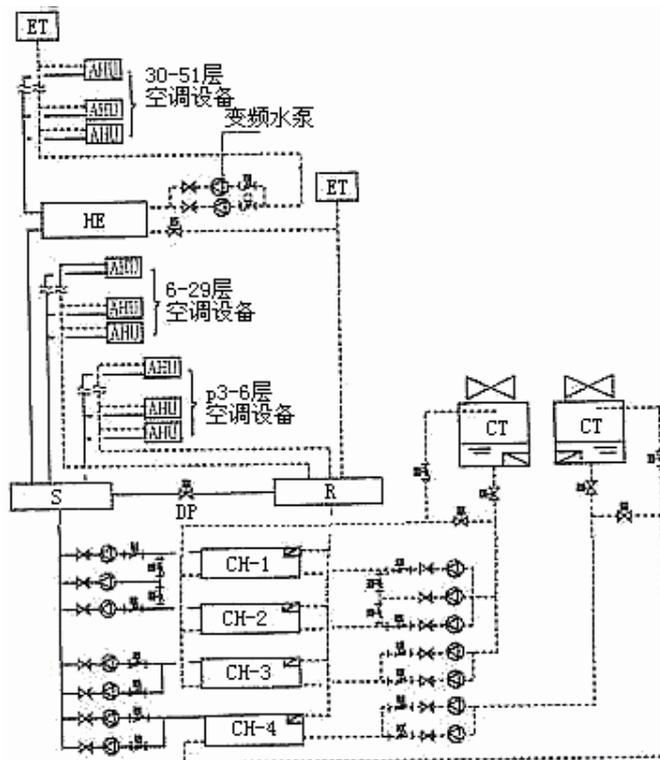


图 2 空调冷水系统

AHU 空调箱 CH 冷水机组 CT 冷却塔 E. T 膨胀水箱
DP 压差旁通 HE 热交换器 S 分水器 R 集水器 P 水泵

VAV 设备和控制简析

图 2 为大厦冷水系统示意图, 4 台冷水机组(地下 3 层)中的 2 台离心机组为高压(10000V)供电, 为适应低负荷需要配有 1 台螺杆式机组, 系统极端低负荷约 140kW。一次冷水系统采用大温差一级定速泵系统, 水温差 8.8°C ($5.6\sim 14.4^{\circ}\text{C}$)。因超高层水系统断压需要, 30 层以上二次冷水系统采用大温差一级变速泵系统 ($6.6\sim 15.4^{\circ}\text{C}$) , 一、二次水由位于 29 层的板式换热器进行热交换。冷却水分为两个系统, 离心式机组采用 8°C 温差 ($32\sim 40^{\circ}\text{C}$) , 螺杆式机组采用 5°C 温差 ($32\sim 37^{\circ}\text{C}$)。由于大型办公楼中的内区在冬季也需供冷, 故冷却水调协热旁通, 使水温不低于 12°C , 以保证冷水机组正常工作。在设计过程中发现, 在同等制冷量、同等耗电量(即同等效率)、同等水压降下, 大温差机组价格仅比常规机组(冷水 $7\sim 12^{\circ}\text{C}$ 、冷却水 $32\sim 37^{\circ}\text{C}$) 贵 3%, 而水量却大幅度下降, 冷水流量下降 43%, 冷却水下降 37%, 节省了水泵和水管系统的投资。2000 年夏季, 系统按大温差运行正常, 达到了设计要求。

2.3 热水系统

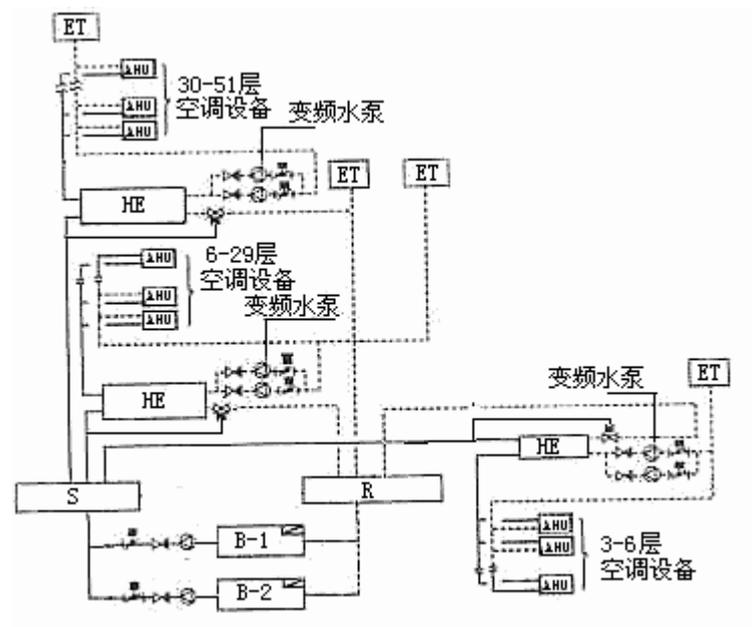


图 3 空调热水系统

B 热水锅炉 其它符号同图 2

图 3 为大厦热水系统示意图。2 台燃油/气热水锅炉位于 6 层, 供水 95℃, 回水 70℃, 通过三组换热器与空调热水系统进行热交换, 因作为二次水的空调热水系统采用一级变速泵系统, 供水 60℃, 回水 50℃。

3 空调系统设计

3.1 定风量空调系统

大厅、餐厅、游泳池等大空间公共区域, 设计采用定风量空调系统。由于是双风机(送、回)系统, 故当室外空气焓值低于室内焓值时, 可改变新风比直至全新风、全排风, 达到节能及改善室内空气品质之目的。

3.2 裙房变风量空调系统

裙房内的零售商店、会议、办公等小空间, 采用双风机变风量空调系统。如前述定风量系统一样, 裙房变风量系统的新、排风管直接接到空调机房外窗百叶上, 过渡季可全新风节能运行。空调箱内设表冷段、粗中效过滤段(比色法效率 60%)。变风量末端采用串联型风机动力箱(sedfanWEed tmimls), 外区末端带热水盘管(1~2 排), 以补偿江周边冷荷。内区末端无热水盘管, 全年空调送风, 末端侧风出口余压 60~80Pa。外区平顶条缝风口沿窗布置, 内区条缝风口均布, 平顶回风。

变风量空调系统的设计原则是送风量随负荷变化新风量不变。然而随着系统风量风压降低, 新风进口负压值必减小, 为保证系统新风量不变, 我们在新风管上设流量计, 不论系统风量如何变化, 通过新、排风调节与回风调节阀反比例自动调节, 使新风量满足设定要求。该设定值可以按需要改变。

3.3 标准办公层变风量空调及其新风系统

VAV 设备和控制简析

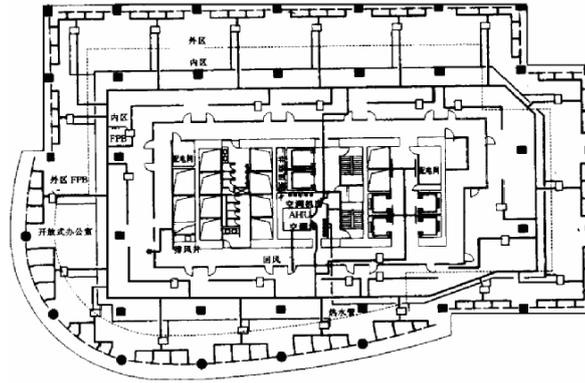


图 4 标准办公层表面

ES 排烟风管 ES/EA 排烟、排风兼用风道 ES/OA 排烟、新风兼用风管 SFD(N·C)
 防火排烟阀(常闭) FVC(N·O) 防火 防烟阀(常开) PF·T 并联式风机动力变风量末端

标准办公层(图 4)每层设 1 个单风机变风量空调系统, 空调箱内设表冷段、粗中效过滤段(比色法效率 60%)。平面分内外二区。外区变风量末端采用并联型风机动力箱(aild fan pOWed tmh)带热水盘管(1~2 排), 内区设单风道变风量末端(single duct VAV. T), 末端风侧出口余压 60~80Pa。外区条缝风口沿窗设置, 内区条缝风口均布, 平顶回风。

标准层新风、排风集中处理, 全年定新风量。为了确保各层新、排风量, 在标准层新、排风支管上均设有定风量末端 CAV. T(0 点, E 点), CAV. T 的构造和控制原理与 VAV. T 完全一致, 只是风量设定值由 BAS 按需要设置, 与室温土无关。当 CAV. T 所测风量与设定值存在偏差时, 其控制器自动调节阀补偿。新、排风 CAV·T 风量设定值满足下述关系: 新风量设定值=排风量设定值+其他排风量(如厕所排风)。新、排风 CAV·T 与该层空调箱(AHU)联锁, AHU 启动时, CAV·T 并不随即开启, 待预冷(热)运行结束后再开启, 系统进入正常运行。新风空调箱和排风机均设变频装置, 根据送(排)风总管内静压值自动调节系统风量,

VAV 设备和控制简析

以达到节能目的。也称之为变风量新、排风集中处理系统，由于受到设备容量和风道尺寸的限制，这种系统和常用的定风量新、排风集中处理系统一样，无法实现过渡季全新风运行。

4 防排烟系统设计

4.1 防排烟系统概要（见表 2）

区域	防排烟系统	设计标准	风口控制
防烟楼梯间	正压送风	50pa	常开风口
合用前室	正压送风	40pa	受控常闭风口
走廊	排烟	60m ³ / (m ² *h)	受控常闭排烟阀
标准办公层	排烟，兼排风	60m ³ / (m ² *h)	受控常闭排烟阀
裙房	排烟，	60m ³ / (m ² *h)	受控常闭排烟阀
地下车库	排烟，兼排风	6 / h 换气	常开风口
电梯井	正压送风	50pa	常开风口
避难层	正压送风	30m ³ / (m ² *h)	常开风口

表 2 防排烟系统参数

4.2 大楼全面防排烟设计

该超高层智能化办公大楼采用全封闭固定外窗，人居空间无自然排烟条件，按《高层民用建筑设计防火规范》（简称《高规》）要求，大楼实现全面防排烟系统设计。除防烟楼梯间、合用前室、走廊、地下车库等一般常见的防排烟设计外，对于标准办公层、裙房等区域均设排烟系统。在防火分区内按 $\leq 500\text{m}^2$ 划出防烟分区，各防烟分区逐一设置排烟口并保持排烟口距该防烟分区水平最远点 $\leq 30\text{m}$ 。有些是专用排烟系统（图 4 中 ES），有些则是排烟、排风（或新风）兼用系统（图 4 中 ES/EA, EA/OA），平时排风（或送风）时关闭各层防火排烟阀 SFD（N.C），打开各层防火防烟阀 FVC（N.O），火灾时按消防中心指令打开火灾层该防烟分区的 SFD（N.C），关闭各层 FVC（N.O），对火灾该防烟区排烟。

VAV 设备和控制简析

排风烟机风量按最大烟分区 $120\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 配置，即可同时满足两个最大防烟区排烟。

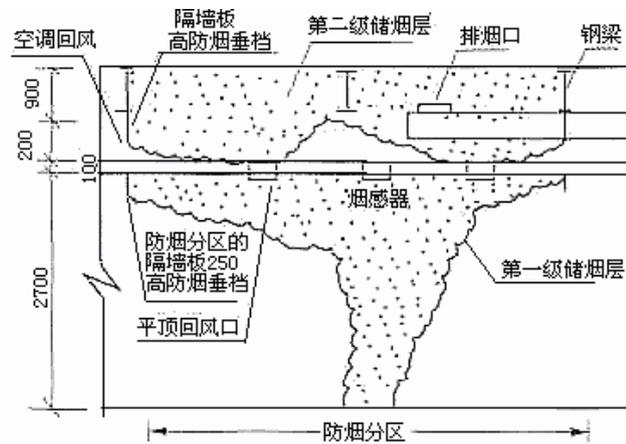
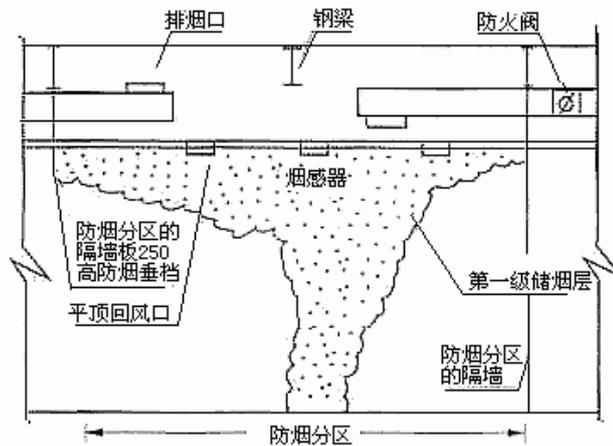


图 5 标准二级储烟及排烟方式



4.3 储烟、排烟与回风

为了平衡各房压力，变风量空调系统一般采用平顶回风，故标准层平顶上部贯通供集中回风。为了满足划分防烟分区的要求，我们采用了二级储烟的方式：在平顶上下各设二道防烟垂挡来代替隔墙以阻止烟气扩散，保证排烟效果。图 5 为二级储烟、排烟示意图。烟气经平顶下防烟垂挡第一级储烟后从平顶回风口进入平顶上防烟垂挡围成的第二级储烟层。该支中设有该防烟分区的排烟口，排烟口位置尽可能提高并向上开口，以提高排烟效果。可见，这种二级储烟方式既满足了防烟、储烟、排烟的要求，又不妨碍平时平顶集中回风。

VAV 设备和控制简析

裙房部分空间较高，回风管可接各防烟分区，采用一级储烟层方式（图 6）。要注意的是送回风管在通过防烟分区时需加受控防火防烟阀 FAD (N. 0) 以防烟气扩散。

4.4 电梯井正压送风系统

现行《高规》对电梯井正压送风仅作提倡，尚无规定。但电梯井内因导轨按摩发热，温度会高于有空调的电梯厅。火灾时，电梯井内热压作用常会将低部烟气吸入电梯井，再从高部压出。电梯厅一般无前保护。电梯井是烟气扩散的主要通道，已成为国内外暖通与消防界的共识。由境外设计的工程中有许多没有正压送风系统，意在用机械回压方式破坏热压作用，阻止烟气从电梯门缝隙中进入井道，并向上部扩散。据悉，上海市消防局正在编制的《高层民用建筑防排烟技术规程》已规定电梯井需设置正压送风系统。

5 空调自控设计

5.1 控制概况(表 3)

被控对象	控制要求	控制手段
冷热水总管	稳定供回水压差	压差旁通
冷冻机组及水泵	运行台数控制	根据实际负荷(流量 $\times\Delta t$)
冷却水温度	冬季防止冷却水温过低	冷却塔回水旁通
冷却塔	风机节能	根据水温分节启停风机
	低温防冻	水盘内电加热器启停
二次水泵	稳定供回水压差及水泵节能	根据压差变频调节水泵
定风量空调系统	室温控制	冷水，热水间歇调节
	新风量及全新风控制	新，回，排三阀调节
厨房新风系统	盘管防冻	冷水，热水间歇调节
	冬季送风湿度控制	蒸汽加湿阀调节
空调箱	盘管防冻	温度检测报警联动
	过滤网管理	压差报警
风机盘管	室温控制	冷水，热水间歇调节

表 3 控制要求及手段

5.2 变风量空调系统控制

航运大厦变风量空调系统有 3 类：

- ①标准层 VAV 系统；
- ②标准层新风/排风 VAV 系统；
- ③裙房 VAV 系统。可归纳为 5 种控制。

5.2.1 区域室温控制

变风量末端控制器根据来自温传感器的室温偏差值，给出风量设定值，并与来自压力无关型末端风量传感器的风量测量值比较，比例调节末端风阀，控制一次风量，以缩小室温偏差。冬季外区末端加热盘管双位温度控制。

5.2.2 定风量末端风量控制

新风/排风 VAV 系统定风量末端 (CAV. T) 的风量设定值与室内温度无关，为定值 (可重新设定)。定风量末端控制器根据风量设定值与末端风量测量值之偏差，比例调节末端风阀，控制末端新 (排) 风量，以减小风量偏差。

5.2.3 送风温度控制

VAV 系统控制器根据来自温传感器的送风温度偏差，比例调节冷水盘管调节阀，以减小温度偏差。当某末端达到最大设定风量或最小设定风量时，可降低或提高送风温度设定值。送风温度设定值还可以依据某种规律变化。

5.2.4 系统送风量控制

变风量空调系统送风量控制方法有多种，较有代表性并实用的有：①定静压

VAV 设备和控制简析

控制法,系统控制器根据设于主风道 2/3 处的静压传感器检测值与设定值的偏差,变频调节送风机转速,以维持风道内静压一定。②变静压控制法,利用 DDC 数据通讯技术,系统控制器综合各末端的阀位信号,来判断系统送风量盈亏,并变频调节送风机转速,满足末端送风量需要。由于变静压控制法在部分负荷下风机输出静压低,末端风阀开度大、噪声低,风机节能效果好,同时又能充分保证每个末端的风量需要,航运大厦标准办公层 VAV 系统和裙房 VAV 系统均采用了这种变静压控制法。

新风(排风)VAV 系统的各定风量端需与标准层办公 VAV 系统联锁,为简化系统,不过分依赖于数据通讯,新(排)风系统采用了较为简单的定静压控制法。

5.2.5 送回风机风量匹配控制

裙房 VAV 系统是双风机系统,如果送回风机风量在变化中不匹配,会使室内压力失控。航运大厦的设计思路是:与送风不同,回风因无阀门调节其阻力曲线不变,回风阻力曲线(由初调时实测)与风机转速曲线(由风机样本给出)相交,可找到转速与风量的对应关系。系统控制器可根据送风量和上述对应关系,找到回风机对应的转速。

5.3 BA 系统监控

航运大厦是一幢智能化程度很高的建筑,就空调通风而言,BA 系统通过数据通讯,可对冷热源、空调、通风系统的各种水温、水压、空气温度、湿度、风量、压力、风阀开度等参数进行监测和设定,可对各种设备包括冷冻机、水泵、冷却塔、空调箱、风机、变风量末端进行启停、监视与报警,大大提高了管理水平。

当然, BA 系统是一个涉及面很广的复杂系统, 航运大厦空调自控能否达到设计要求, 还有待于 BA 厂商、设备厂商、施工单位的共同努力。

6 调试、使用概况

航运大厦自 1999 年 6 月开始部分技能使用, 1 年多来边调试边使用, 目前除个别区域尚在装修外已全部投入使用。

6.1 空调通风系统的主要设备如空调箱(新晃)、水泵(ITT)、冷却塔(BAC)、风机(三矢)、变风量末端(町 I)等均工作正常, 基本能达到设计要求。

6.2 空调一次冷水系统、冷却水系统水温能达到设计要求, 二次水系统水温偏高 1-2℃, 但对室温控制的影响不大。

6.3 定风量、变风量空调系统已能技人使用, 室温能达到设计的要求。一直担心的 VAV 噪声问题、室内空气清洁度问题未出现, 受到用户的好评。新风变风量系统、排风变风量系统在经过捉漏、补漏、调试后, 已能达到设计要求, 保证了送、排风风量平衡, 对全封闭大厦至关重要的室内空气新鲜度也大为改善。

6.4 防排烟系统已通过了消防局的严格测试。

6.5 BAS 系统已能监视各系统的工作状态, 控制功能尚在调试中。

6.6 在对航运大厦长达 6 年的设计、施工、调试过程中, 我们得到了不少经验和体会。

①就目前的土建施工水平以及与安装的配合体制而言, 不宜使用建筑风道。

②为降低高级民用建筑的噪声, 除消防用途外, 宜用离心风机取代轴流、混流风机。

VAV 设备和控制简析

- ③为适应风系统调节、控制的需要,对防火阀、调节阀的漏风量应严格把关。
- ④国内 BA 系统扭曲的市场竞争严重制约着现代智能化办公楼空调系统的完善与发展。
- ⑤国内目前的工程承包体制远不能胜任复杂的现代智能化办公楼工程,亟待与国际接轨。